

(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES  
PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum  
Internationales Büro



(43) Internationales Veröffentlichungsdatum  
1. September 2005 (01.09.2005)

PCT

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer  
**WO 2005/081332 A1**

(51) Internationale Patentklassifikation<sup>7</sup>: H01L 41/22

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2005/050213

(22) Internationales Anmeldedatum:  
19. Januar 2005 (19.01.2005)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:  
10 2004 009 140.4  
25. Februar 2004 (25.02.2004) DE

(71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme von  
US): SIEMENS AKTIENGESELLSCHAFT [DE/DE];  
Wittelsbacherplatz 2, 80333 München (DE).

(72) Erfinder; und

(75) Erfinder/Anmelder (nur für US): DÖLLGAST, Bernd  
[DE/DE]; Hindenburgstr. 4a, 91054 Erlangen (DE).  
NIEFANGER, Roland [DE/DE]; Pürkelgutweg 18A,  
93055 Regensburg (DE). WITTE, Kord [DE/DE]; Ingel-  
heimer Str. 9a, 09212 Limbach-Oberfrohna (DE).

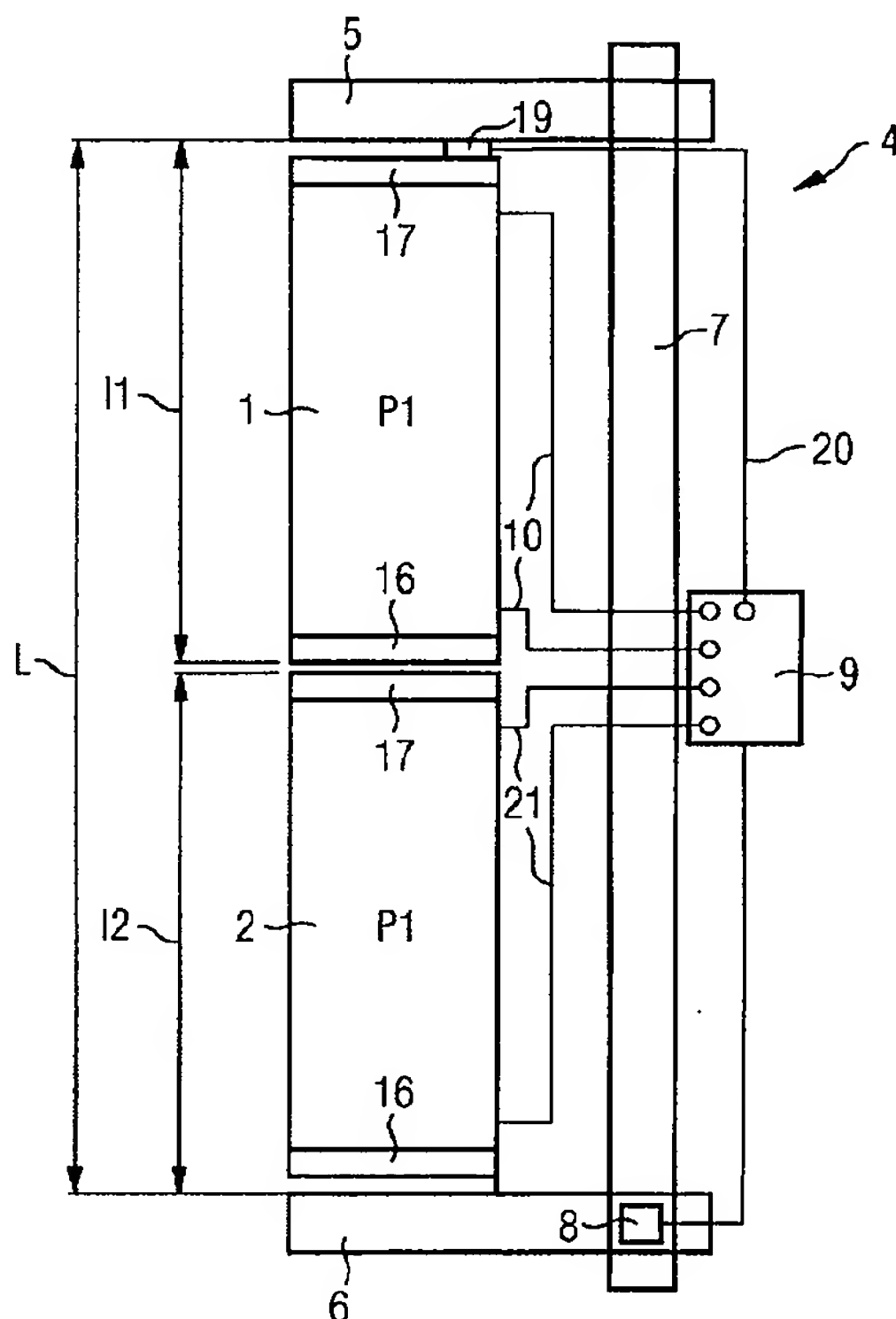
(74) Gemeinsamer Vertreter: SIEMENS AKTIENGE-  
SELLSCHAFT; Postfach 22 16 34, 80506 München  
(DE).

(81) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für  
jede verfügbare nationale Schutzrechtsart): AE, AG, AL,  
AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BW, BY, BZ, CA, CH,  
CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DZ, EC, EE, EG, ES,  
FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE,  
KG, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MA, MD,

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) Title: METHOD AND DEVICE FOR POLARIZING A PIEZOELECTRIC ACTUATOR

(54) Bezeichnung: VERFAHREN UND VORRICHTUNG ZUR POLARISIERUNG EINES PIEZOELEKTRISCHEN AKTORS



(57) Abstract: The invention relates to a method and device for polarizing a piezoelectric actuator according to which high-frequency pulse voltages can be used for polarizing the actuators. This is achieved by mounting an actuator to be polarized between two retaining elements while connected in series to a second piezoelectric actuator. The retaining elements provide the actuator (1) with a desired pretension. A compensating element compensates for changes in length of the actuator (1) so that even in the event of high-frequency pulse voltages and thus high-frequency changes in length, the pretension can be maintained within a desired range of values. Preferably, the second piezoelectric actuator has the identical design of the first actuator and is polarized with the first actuator. This enables two piezoelectric actuators to be simultaneously polarized during a polarizing process.

(57) Zusammenfassung: Es wird ein Verfahren und eine Vorrichtung zum Polarisieren eines piezoelektrischen Aktors beschrieben, bei dem hochfrequente Pulsspannungen zur Polarisierung der Aktoren verwendet werden können. Dies wird dadurch erreicht, dass ein zu polarisierender Aktor in Serie mit einem zweiten piezoelektrischen Aktor zwischen zwei Halteelementen angeordnet ist. Die Halteelemente versorgen den Aktor (1) mit einer gewünschten Vorspannkraft. Durch das Ausgleichselement werden Längenänderungen des Aktors (1) ausgeglichen, so dass auch bei hochfrequenten Pulsspannungen und damit hochfrequenten Längenänderungen die Vorspannkraft in einem gewünschten Wertebereich gehalten wird. Vorzugsweise wird der zweite piezoelektrische Aktor identisch zum ersten Aktor ausgebildet und wird mit dem ersten Aktor polarisiert. Dadurch können bei einem Polarisationsvorgang zwei piezoelektrische Aktoren gleichzeitig polarisiert werden.

WO 2005/081332 A1



MG, MK, MN, MW, MX, MZ, NA, NI, NO, NZ, OM, PG, PH, PL, PT, RO, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, YU, ZA, ZM, ZW.

PL, PT, RO, SE, SI, SK, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

**Veröffentlicht:**

— mit internationalem Recherchenbericht

- (84) **Bestimmungsstaaten** (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare regionale Schutzrechtsart): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasisches (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), europäisches (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, MC, NL,

Zur Erklärung der Zweibuchstaben-Codes und der anderen Abkürzungen wird auf die Erklärungen ("Guidance Notes on Codes and Abbreviations") am Anfang jeder regulären Ausgabe der PCT-Gazette verwiesen.

## Beschreibung

### Verfahren und Vorrichtung zur Polarisierung eines piezoelektrischen Aktors

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Polarisierung eines piezoelektrischen Aktors gemäß dem Oberbegriff des Patentanspruchs 1 und eine Vorrichtung zum Polarisieren eines piezoelektrischen Aktors gemäß dem Oberbegriff von Anspruch 9.

Piezoelektrische Aktoren werden in den verschiedensten technischen Bereichen eingesetzt, um Stellglieder zu betätigen. Dabei haben die piezoelektrischen Aktoren den wesentlichen Vorteil, dass eine schnelle Betätigung mit hoher Dynamik und mit hoher Kraft möglich ist.

Ein piezoelektrischer Aktor ist aus einer Vielzahl von piezoelektrischen Schichten aufgebaut. Die einzelnen piezoelektrischen Schichten sind jeweils zwischen zwei Metallelektroden angeordnet. Zur Betätigung des piezoelektrischen Aktors wird an die piezoelektrischen Schichten eine elektrische Spannung angelegt, die zu einer Verlängerung der einzelnen piezoelektrischen Schichten und zu einer Verlängerung des piezoelektrischen Aktors insgesamt führt. Damit die piezoelektrische Schicht nach der Herstellung einen piezoelektrischen Effekt aufweist, bei dem sich die Dicke der piezoelektrischen Schicht bei Anlegen einer elektrischen Spannung verändert, ist es erforderlich, die piezoelektrischen Schichten zuerst zu polarisieren.

Zur Polarisierung der piezoelektrischen Schichten wird ein elektrisches Polarisationsfeld, d.h. eine elektrische Spannung angelegt, wodurch sich eine remanente Polarisierung und

eine geordnete Verteilung der in den piezoelektrischen Schichten ausgerichteten Domänen in der Feldrichtung des Polarisationsfeldes gegenüber dem unpolarisierten Ausgangszustand ergibt. Nach der Polarisierung der piezoelektrischen Schichten sind die piezoelektrischen Schichten remanent, d.h. andauernd in der Richtung des angelegten Polarisationsfeldes verlängert. Die remanente Verlängerung der piezoelektrischen Schichten wird an die Spannungsbedingungen im Einsatz des piezoelektrischen Aktors dadurch angepasst, dass die Polarisierung unter einer Druckspannung erfolgt. Dadurch werden Setzeffekte der piezoelektrischen Schichten, die nach der Polarisierung auftreten, reduziert. Ein entsprechendes, gattungsgemäßes Verfahren ist aus der Internationalen Patentanmeldung mit der Internationalen Veröffentlichungsnummer WO 99/31739 bekannt.

Zur Polarisierung des piezoelektrischen Aktors werden zeitlich veränderliche Spannungen verwendet, da dadurch eine verbesserte Polarisierung erreicht wird. Die Länge des piezoelektrischen Aktors ändert sich während des Polarisationsvorganges entsprechend den angelegten Spannungspulsen. Da der piezoelektrische Aktor zur Darstellung der Druckspannung zwischen zwei Halterungen eingespannt ist, wird die von den Halterungen auf dem piezoelektrischen Aktor erzeugte Druckspannung durch die Längenänderung des piezoelektrischen Aktors verändert. Dadurch wird der Polarisationsvorgang des piezoelektrischen Aktors negativ beeinflusst.

Die Aufgabe der Erfindung besteht darin, ein Verfahren und eine Vorrichtung zur Polarisierung eines piezoelektrischen Aktors bereitzustellen, mit dem eine Verbesserung des Polarisierungsvorganges möglich ist.

Die Aufgabe der Erfindung wird durch das Verfahren gemäß Patentanspruch 1 und durch die Vorrichtung gemäß Patentanspruch 9 gelöst.

- 5 Weitere vorteilhafte Ausführungsformen der Erfindung sind in den abhängigen Ansprüchen angegeben.

Ein Vorteil der Erfindung besteht darin, dass die Vorspannkraft während der Polarisierung im Wesentlichen konstant  
10 gehalten wird. Dazu ist zwischen dem ersten piezoelektrischen Aktor und der Vorspannhalterung ein zweiter piezoelektrischer Aktor angeordnet, der einen Längenausgleich bei der Polarisierung des ersten piezoelektrischen Aktors bewirkt. Dadurch wird sichergestellt, dass die Gesamtlänge der zwei piezo-  
15 elektrischen Aktoren im Wesentlichen konstant bleibt. Somit kann die Lage der Halteelemente der Vorspannhalterung nach einer Startphase im Wesentlichen konstant gehalten werden.

Der zweite piezoelektrische Aktor wird dabei phasenverschoben  
20 zum ersten piezoelektrischen Aktor mit einer sich ändernden Spannung versorgt, wobei nach einer Startphase, in der die Amplituden der Spannungen erhöht werden, die zwei Spannungen in der Weise festgelegt werden, dass die Summe der Spannungen annähernd konstant bleibt. Auf diese Weise wird erreicht,  
25 dass die Gesamtlänge der zwei piezoelektrischen Aktoren während des Polarisierungsvorganges im Wesentlichen konstant bleibt. Dadurch ist es möglich, eine konstante Vorspannkraft bei Beginn des Polarisationsvorganges an die zwei piezoelektrischen Aktoren durch eine Lagejustierung der Halteelemente  
30 der Vorspannhalterung festzulegen, ohne dass es erforderlich ist, die Lage der Halteelemente der Vorspannhalterung nach der Startphase während der Polarisierung des ersten und/oder des zweiten Aktors verändern zu müssen.

Aufgrund des erfindungsgemäßen Verfahrens ist es möglich, die Spannungen, die zur Polarisierung der piezoelektrischen Aktoren verwendet werden, mit einer hohen Frequenz anzulegen. Da  
5 die piezoelektrischen Aktoren eine hohe Dynamik bei der Längenänderung aufweisen, ist es möglich, die schnellen Längenänderungen des ersten piezoelektrischen Aktors durch eine entsprechend schnelle Längenänderung des zweiten piezoelektrischen Aktors auszugleichen. Entsprechend hohe Frequenzen  
10 könnten mit einer Lageänderung der Halteelemente nicht erreicht werden, da deren Massenträgheit eine entsprechende dynamische Bewegung nicht zulässt.

Vorzugsweise werden die Spannungen, die an die zwei Aktoren  
15 gleichzeitig angelegt werden, in der Weise festgelegt, dass die Erhöhung bzw. Erniedrigung der Spannung an den Elektroden des ersten Aktors gleich der Erniedrigung bzw. der Erhöhung der Spannung an den Elektroden des zweiten Aktors ist. Auf diese Weise wird die auf die piezoelektrischen Schichten der  
20 zwei Aktoren wirkenden Spannungsänderungen gleich groß gewählt.

In einer weiteren Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens wird die Längenänderung des ersten und/oder des zweiten  
25 piezoelektrischen Aktors während einer Startphase durch eine Lageänderung der Halteelemente der Vorspannhalterung während des Polarisierungsvorganges ausgeglichen. Auch auf diese Weise wird die Druckspannung, die auf die piezoelektrischen Aktoren während des Polarisierungsvorganges einwirkt,  
30 trotz der Längenänderung annähernd konstant gehalten.

Die erfindungsgemäße Vorrichtung weist den Vorteil auf, dass die während eines Polarisierungsvorganges eines ersten piezo-



elektrischen Aktors auftretenden hoch dynamischen Längenänderungen präzise durch einen zweiten piezoelektrischen Aktor ausgeglichen werden, so dass die während des Polarisationsvorganges auf den ersten und/oder den zweiten piezoelektrischen Aktor einwirkende Vorspannkraft im Wesentlichen konstant gehalten wird. Dazu weist die Vorrichtung ein Steuerges-  
5 rät auf, das die Polarisation des ersten und des zweiten Aktors in der Weise durchführt, dass die durch die Polarisation im ersten Aktor erzeugte Längenänderung durch die durch die  
10 Polarisation im zweiten Aktor erzeugte Längenänderung ausgeglichen wird.

In einer weiteren bevorzugten Ausführungsform ist wenigstens ein Halteelement der Vorspannvorrichtung, das zur Halterung  
15 des piezoelektrischen Aktors dient, bewegbar gehalten und dessen Lage wird von der Steuereinheit in entsprechender Weise geändert, um während der Startphase auftretende Längenänderungen der piezoelektrischen Aktoren auszugleichen.

20 Die Erfindung wird im Folgenden anhand der Figuren näher erläutert. Es zeigen  
Fig. 1 den schematischen Aufbau eines piezoelektrischen Aktors,  
Fig. 2 eine Vorrichtung zur Polarisierung eines piezoelektri-  
25 schen Aktors,  
Fig. 3 Kennlinien eines ersten Polarisationsverfahrens, und  
Fig. 4 Kennlinien eines zweiten Polarisationsverfahrens.

Fig. 1 zeigt den schematischen Aufbau eines piezoelektrischen  
30 ersten Aktors 1, der aus einer Vielzahl von piezoelektrischen Schichten 11 besteht. Die piezoelektrischen Schichten 11 sind in Form eines Schichtstapels übereinander angeordnet, wobei jeweils eine piezoelektrische Schicht 11 von zwei flächigen

Elektroden 12 begrenzt ist. Somit ist zwischen zwei piezoelektrischen Schichten 11 jeweils eine Elektrode 12 angeordnet. Der Schichtstapel ist am unteren Ende von einer ersten Abdeckplatte 16 und am oberen Ende von einer zweiten Abdeckplatte 17 begrenzt. Die zwei Abdeckplatten 16, 17 sind zwischen eine hülsenförmige Rohrfeder 18 eingespannt, die in der Fig. 1 nur schematisch angedeutet ist. Die Rohrfeder 18 spannt die erste und die zweite Abdeckplatte 16, 17 in Richtung auf den Schichtstapel von piezoelektrischen Schichten 12 vor. In Abhängigkeit von der gewünschten Ausführungsform kann auf die Rohrfeder 18 auch verzichtet werden.

Die Elektroden 12 sind im Wesentlichen entsprechend der Flächenform der piezoelektrischen Schichten 12 ausgebildet. Die Elektroden 12 sind abwechselnd an einen ersten oder einen zweiten Leiter 14, 15 angeschlossen. Der erste und der zweite Leiter 14, 15 sind an gegenüberliegenden Eckbereichen des Schichtstapels angeordnet. Damit nicht jede Elektrode 12 mit jedem ersten und zweiten Leiter 14 und 15 kontaktiert ist, sind entsprechende Aussparungen 13 vorgesehen, so dass eine Elektrode 12 nur mit einem ersten oder zweiten Leiter 14, 15 elektrisch leitend kontaktiert ist. Die Aussparungen befinden sich angrenzend an den ersten oder den zweiten Leiter 14, 15 im Bereich der Elektroden 12. Auf diese Weise wird sichergestellt, dass eine piezoelektrische Schicht 11 zwischen zwei Elektroden 12 angeordnet ist, die mit dem ersten bzw. dem zweiten Leiter 14, 15 elektrisch leitend verbunden sind. Wird nun an den ersten und den zweiten Leiter 14, 15 eine Spannung angelegt, so wird die Spannung an jeweils zwei Elektroden 12 einer piezoelektrischen Schicht 11 angelegt. Damit stellt der Schichtstapel mit den piezoelektrischen Schichten 11 eine Serienschaltung von einer Vielzahl von piezoelektrischen



Schichten dar. Der Schichtstapel stellt einen monolithisch ausgebildeten Vielschichtpiezoaktor dar.

Der erste Aktor 1 kann beispielsweise als Ventilantrieb verwendet werden und hat eine Betriebsdauer, die  $10^9$  Betriebszyklen überschreiten kann. Die Elektroden 12 sind vorzugsweise als Metallelektroden ausgebildet. Der erste und der zweite Leiter 14, 15 werden zuerst für eine Polarisierung der piezoelektrischen Schichten 12 und anschließend zum Betrieb des Aktors 1 verwendet. Um mit dem ersten Aktor Arbeitshübe von 5 bis 60  $\mu\text{m}$  erreichen zu können, ist eine Stapelhöhe von 5 bis 40 mm erforderlich, was einer Anzahl von bis zu 1000 piezoelektrischen Schichten 11 entspricht.

Nach der Herstellung des Schichtstapels weisen die gesinter-ten Keramikkörner der piezoelektrischen Schichten 11 spontane Polarisationsbereiche mit unterschiedlichen Polarisationsrichtungen auf. Die spontane Polarisierung ist mit einer Deformation des Kristallgitters verbunden. Auftretende innere Spannungen können teilweise nur durch die Ausbildung von Domänen abgebaut werden. Nach der spontanen Polarisierung sind die Dipolmomente der einzelnen Domänen so ausgerichtet, dass sie sich aufgrund der statistisch verteilten Polarisationsrichtungen kompensieren.

Für die Bereitstellung von nutzfähigen Arbeitshüben ist es erforderlich, die Polarisationsrichtungen der Dipolmomente der einzelnen Domänen in einer Richtung auszurichten. Die Ausrichtung der Dipolmomente wird dadurch erreicht, dass ein elektrisches Polarisationsfeld an die piezoelektrischen Schichten 11 angelegt wird, wodurch eine Polarisierung der Dipolmomente der Domänen parallel zur Längsachse des ersten Aktors 1 auftritt, da die Elektroden 12 senkrecht zu der Längs-

achse des Aktors 1 angeordnet sind. Zudem erfährt der Schichtstapel eine remanente Längenänderung in der Längsachse des Stapels. Zur Verbesserung des Polarisationsverfahrens wird der Schichtstapel bestehend aus den piezoelektrischen Schichten 11 unter einer festgelegten Druckspannung dem Polarisationsfeld ausgesetzt und polarisiert. Das Polarisationsfeld wird durch das Anlegen einer Polarisationsspannung an den ersten und den zweiten Leiter 14, 15 erzeugt. Wahlweise kann eine Polarisationsstemperatur von 20 bis 150°C eingestellt werden. Typischerweise werden elektrische Polarisationsfelder verwendet, die eine Stärke von 2 bis 2,5 kV/mm aufweisen. Während der gesamten Polarisationszeit wird das Polarisationsfeld und die Druckspannung aufrechterhalten. Für typische Polarisationsvorgänge sind Polarisationszeiten im Bereich von einigen Minuten üblich.

Versuche haben gezeigt, dass piezoelektrische Aktoren 1 mit besonders guten Eigenschaften dadurch hergestellt werden können, dass die Polarisierung der piezoelektrischen Schichten 11 des piezoelektrischen Aktors 1 mit veränderlichen Polarisationsfeldern erzeugt wird. Dabei werden während eines Polarisationsverfahrens mehrere Spannungspulse in Folge in Form von Kennlinien mit sich ändernden Amplituden angelegt. Während eines Polarisationsverfahrens wird durch die sich ändernde Spannung ein sich änderndes elektrisches Polarisationsfeld an die piezoelektrischen Schichten 11 angelegt. Die Amplitude der Kennlinien der Spannungen kann einen sinusförmigen, einen rechteckförmigen oder auch andere Spannungsverläufe mit sich ändernden Amplituden aufweisen. Bei dieser Vorgehensweise besteht jedoch ein Problem darin, die auf den Schichtstapel einwirkende Druckspannung in festgelegten Bereichen zu halten. Dies ist deshalb schwierig, da bei dem Polarisationsver-

fahren der piezoelektrische Aktor entsprechend der sich ändernden Spannung seine Länge verändert.

Die auf den piezoelektrischen Aktor 1 einwirkende Druckspannung sollte in einem festgelegten Bereich liegen, einen gewissen Maximalwert nicht überschreiten und einen gewissen Minimalwert nicht unterschreiten, um die Güte des polarisierten Aktors 1 nicht zu beeinträchtigen. Die Längenänderung des piezoelektrischen Aktors 1 erfordert es im Stand der Technik, dass der Abstand der Halteelemente, zwischen die der piezoelektrische Aktor 1 beim Polarisierungsvorgang eingespannt ist, variiert wird, damit die auf den piezoelektrischen Aktor 1 einwirkende Druckspannung in dem gewünschten Spannungsbereich bleibt. Mit zunehmender Frequenz der Spannung, die während des Polarisierungsvorganges an die piezoelektrischen Schichten 11 angelegt wird, ist die Abstandsänderung zwischen den zwei Halteelementen der Spanneinrichtung immer schwieriger einzuhalten. Aufgrund der Massenträgheit der Halteelemente kann eine präzise Einstellung der Vorspannkraft während des Polarisationsvorganges bei hohen Frequenzen der Polarisationsspannungen nicht mehr eingehalten werden.

Die Erfindung schlägt ein verbessertes Polarisationsverfahren und eine verbesserte Vorrichtung zur Durchführung des Polarisationsverfahrens vor, die anhand der Fig. 2 näher erläutert werden. In Abhängigkeit von der gewählten Ausführung wird der erste Aktor 1 vor oder nach dem Einbringen in die Rohrfeder 18 polarisiert.

Fig. 2 zeigt in einer schematischen Darstellung eine Vorspannhalterung 4, die zwei Halteelemente 5, 6 aufweist, die den ersten und zweiten piezoelektrischen Aktor 1, 2 während des Polarisationsvorganges mit einer einstellbaren Vorspann-

kraft beaufschlagen. Die Halteelemente 5, 6 stehen über ein Gehäuse 7 miteinander in Wirkverbindung. In der dargestellten Ausführungsform ist das erste Halteelement 5 fest mit dem Gehäuse 7 verbunden. Das zweite Halteelement 6 ist über eine Mechanik 8 bewegbar am Gehäuse 7 gehalten. Die Mechanik 8 ist in dem dargestellten Ausführungsbeispiel als Motor mit Schneckengetriebe ausgebildet. Durch eine entsprechende Ansteuerung des Motors 8 kann die Lage des zweiten Halteelementes 6 entlang der Längsrichtung des Gehäuses 7 verschoben werden. Damit wird der Abstand L zwischen den zwei Halteelementen 5, 6 verändert.

Der Motor 8 ist über Steuerleitungen mit einer Steuereinheit 9 verbunden. Die Steuereinheit 9 steht über erste Steuerleitungen 10 mit dem ersten Aktor 1 in Verbindung. Die ersten zwei Steuerleitungen 10 sind an den ersten bzw. den zweiten Leiter 14, 15 des ersten Aktors 1 angeschlossen. Der erste Aktor 1 ist in der Längsrichtung parallel zum Gehäuse 7 angeordnet und liegt mit der zweiten Abdeckplatte 17 am ersten Halteelement 5 an. In einer bevorzugten Ausführungsform ist zwischen dem ersten Halteelement 5 und der zweiten Abdeckplatte 17 des ersten Aktors 1 ein Drucksensor 19 angeordnet. Der Drucksensor 19 ist über eine Signalleitung 20 mit der Steuereinheit 9 verbunden. Der Drucksensor 19 erfasst die Vorspannkraft, die von der Vorspannhalterung 4 auf den ersten und zweiten Aktor 1, 2 ausgeübt wird.

In dem dargestellten Ausführungsbeispiel ist der zweite Aktor 2 zwischen dem ersten Aktor 1 und dem zweiten Halteelement 6 angeordnet. Der zweite Aktor 2 ist vorzugsweise identisch zum ersten Aktor 1 ausgebildet. Vorzugsweise ist eine zweite Länge 12 des zweiten Aktors 2 gleich einer ersten Länge 11 des ersten Aktors 1. Der zweite Aktor 2 ist über zwei zweite

Steuerleitungen 21 an die Steuereinheit 9 angeschlossen. Eine der zweiten Steuerleitungen 21 ist an den ersten Leiter 14 und die andere zweite Steuerleitung 21 ist an den zweiten Leiter 15 angeschlossen.

5

Für die Durchführung eines Polarisationsvorganges legt die Steuereinheit 9 eine festgelegte Vorspannkraft in Längsrichtung an den ersten und den zweiten Aktor 1, 2 dadurch an, dass das zweite Halteelement 6 über den Motor 8 in entsprechender Weise in Richtung auf das erste Halteelement 5 bewegt wird. In Abhängigkeit davon, ob der Drucksensor 19 vorgesehen ist oder nicht, werden entweder experimentell ermittelte Verfahrwege des zweiten Halteelementes 6 zur Ansteuerung des Motors 8 verwendet oder die Steuereinheit 9 erfasst während des Verfahrens des zweiten Halteelementes 6 über den Drucksensor 19 die auf den ersten und den zweiten Aktor einwirkende Vorspannkraft und verfährt das zweite Halteelement 6 so lange, bis die gewünschte Vorspannkraft am ersten und am zweiten Aktor 1, 2 anliegt.

20

Figur 3 zeigt schematische Kennlinien eines Polarisationsverfahrens der zwei Aktoren mit einer Startphase. In Figur 3a sind die Polarisationsspannungen  $P_1, P_2$  über die Zeit  $t$  aufgetragen. In Figur 3b sind die Längenänderungen  $W_1, W_2$  des ersten und des zweiten Aktors 1,2 über der Zeit  $t$  aufgetragen. In Figur 3c ist die Summe der Längenänderungen des ersten und des zweiten Aktors 1,2 über der Zeit  $t$  aufgetragen. Die Startphase erstreckt sich vom nullten Zeitpunkt  $t_0$  bis zum Anfangszeitpunkt  $T_A$  der zweiten Phase.

30

In einer bevorzugten Ausführungsform wird parallel zum Einstellen der Vorspannkraft der erste Aktor 1 während der Startphase mit einer sich ändernden ersten Polarisationsspan-

nung P1 beaufschlagt, deren Amplitude um einen steigenden ersten Mittelwert schwankt. Zudem wird während der Startphase der zweite Aktor mit einer zweiten sich ändernden Polarisationsspannung beaufschlagt, deren Amplitude um einen steigenden zweiten Mittelwert schwankt. Die erste und die zweite Polarisationsspannung sind in der Weise aufeinander abgestimmt, dass die Summe aus der ersten und der zweiten Polarisationsspannung auf einen festgelegten Wert stetig zunimmt. Die erste und die zweite Polarisationsspannung können verschiedene Spannungsverläufe aufweisen. In Figur 3a sind die erste und die zweite Polarisationsspannung in Form von Sinuskurven dargestellt, die um  $90^\circ$  gegeneinander phasenverschoben sind.

Aufgrund der Zunahme des Mittelwertes der ersten Polarisationsspannung P1 während der Startphase verändert sich entsprechend die erste Länge L1 des ersten Aktors 1 um eine erste Längenänderung W1, wie in Figur 3b dargestellt ist. Aufgrund der Zunahme des Mittelwertes der zweiten Polarisationsspannung P2 während der Startphase vergrößert sich entsprechend die zweite Länge L2 des zweiten Aktors 2 um eine zweite Längenänderung W2, wie in Figur 3b dargestellt. Damit nimmt auch folglich die auf den ersten und den zweiten Aktor 1, 2 einwirkende Vorspannkraft unabhängig von der relativen Lage des ersten und des zweiten Halteelementes 5, 6 zu.

Am Ende der Startphase nach dem Anfangszeitpunkt TA der zweiten Phase haben die erste und die zweite Polarisationsspannung P1, P2 einen maximalen Mittelwert erreicht, um den die erste und die zweite Polarisationsspannung P1, P2 schwanken. Die erste und die zweite Polarisationsspannung P1, P2 sind nach der Startphase in der Weise ausgebildet, dass die Summe aus der ersten und der zweiten Polarisationsspannung P1, P2 im wesentlichen zeitlich konstant ist. Da die Summe der Polari-



sationsspannungen im wesentlichen zeitlich konstant ist, ist auch die Summe der Längenänderungen ( $W_1+W_2$ ) des ersten und des zweiten Aktors im wesentlichen zeitlich konstant, wie in Figur 3c dargestellt ist.

5

Die gewünschte Vorspannkraft wird von der Steuereinheit 9 bei Anliegen einer ersten Polarisationsspannung  $P_1$  am ersten Aktor 1 und bei Anliegen einer zweiten Polarisationsspannung  $P_2$  am zweiten Aktor 2 durch die Einstellung des Abstandes der Haltelemente 5,6 auf einen gewünschten Wert während der Startphase eingestellt.

Da die Summe der Längenänderungen ( $W_1+W_2$ ) der zwei Aktoren 1,2 nach der Startphase im wesentlichen konstant bleibt, ist es trotz der sich um den jeweiligen Mittelwert schwankenden ersten und zweiten Polarisationsspannungen  $P_1, P_2$  nicht erforderlich, die Abstände zwischen dem ersten und dem zweiten Haltelement zu verändern, um eine maximale Vorspannung des ersten und des zweiten Aktors in einem festgelegten Wertebereich zu halten.

Damit können die erste und die zweite Polarisationsspannung hohe Frequenzen aufweisen, mit denen die erste und die zweite Polarisationsspannung um den jeweiligen Mittelwert schwanken, ohne dass eine Nachregelung des Abstandes des ersten und zweiten Halteelementes erforderlich ist. Die dadurch möglichen hohen Frequenzen sind für die Polarisierung des ersten und/oder des zweiten Aktors vorteilhaft.

Figur 4 zeigt Kennlinien einer weiteren Ausführungsform des Verfahrens nach der Startphase in der zweiten Phase nach dem Anfangszeitpunkt  $T_A$ , bei dem als Kurvenverlauf sägezahnartige Verläufe für die erste und die zweite Polarisationsspannung

P1, P2 gewählt werden. In Figur 4a sind die Verläufe der ersten und der zweiten Polarisationsspannung P1, P2 dargestellt, die an den ersten und an den zweiten Aktor 1, 2 angelegt werden. Nach der Startphase liegen zu dem Anfangszeitpunkt TA  
5 die erste Polarisationsspannung P1 mit einem Maximalwert am ersten Aktor 1 an. Die zweite Polarisationsspannung P2 weist den Wert 0 auf.

Die erste Polarisationsspannung P1, die dem ersten Aktor 1  
10 zugeführt wird, und die zweite Polarisationsspannung P2 sind in der Weise ausgebildet, dass die Summe der ersten und der zweiten Polarisationsspannung im wesentlichen zeitlich konstant bleibt. Dazu sind die Kurvenverläufe identisch, jedoch so zeitverschoben, dass die Summe (P1+P2) aus der ersten und  
15 der zweiten Polarisationsspannung im wesentlichen konstant ist.

Die Summe (P1+P2) der Polarisationsspannungen P1, P2 ist in Figur 4b dargestellt. Als Folge von der konstanten Summe der  
20 Polarisationsspannungen ist die Gesamtlänge L der Serienanordnung des ersten und des zweiten Aktors 1, 2, die sich aus der ersten Länge l1 und der zweiten Länge l2 des ersten bzw. des zweiten Aktors 1, 2 ergibt, im Wesentlichen auch konstant. Die Gesamtlänge L ist in Figur 4c dargestellt. Geringe  
25 Schwankungen der Gesamtlänge L können hingenommen werden, so lange die auf den ersten und den zweiten Aktor einwirkende Vorspannkraft einen festgelegten Bereich nicht verlässt.

Zum Anfangszeitpunkt TA der zweiten Phase weisen der erste  
30 und der zweite Aktor 1, 2 eine Anfangslänge auf. Das erste und das zweite Halteelement 5, 6 sind einen durch die Steuereinheit 9 festgelegten Abstand voneinander beabstandet. Zudem wird über die Halteelemente 5, 6 eine gewünschte Vorspann-

- kraft FG auf die Aktoren 1, 2 ausgeübt. An dem ersten Aktor 1 liegt zum Anfangszeitpunkt TA eine maximale Polarisierungsspannung Umax an. An dem zweiten Aktor 2 liegt zum Anfangszeitpunkt TA keine zweite Polarisierungsspannung P2 mit dem Wert 0 Volt an. Die Summe aus der ersten und der zweiten Polarisierungsspannung P1, P2 entspricht zum Anfangszeitpunkt dem maximalen Spannungswert Umax. Der Anfangszeitpunkt stellt bereits den ersten Verfahrensschritt nach der Startphase dar. Anschließend wird in einem zweiten Verfahrensschritt die zweite Polarisierungsspannung P2 auf einen höheren Wert angehoben. Der höhere und der niedrigere Wert der Polarisierungsspannungen P1, P2 hängen von dem gewünschten Polarisierungsvorgang ab.
- 15 In dem dargestellten Ausführungsbeispiel wird die erste Polarisierungsspannung P1 linear von dem maximalen Spannungswert Umax bis auf den Wert 0 Volt zum ersten Zeitpunkt T1 gesenkt. Gleichzeitig wird die zweite Polarisierungsspannung P2 von dem Wert 0 Volt linear bis zum ersten Zeitpunkt T1 auf den maximalen Spannungswert Umax erhöht. Während des ersten Verfahrensschrittes, d.h. zwischen dem Anfangszeitpunkt TA und dem ersten Zeitpunkt T1 entspricht die Summe der Polarisierungsspannung P1 + P2 im Wesentlichen dem maximalen Spannungswert Umax. Je nach Ausführungsform kann die Summe der Polarisierungsspannungen aber auch geringfügig schwanken, wie im Diagramm der Fig. 4b dargestellt ist.

Die Gesamtlänge L sollte idealerweise während des ersten Polarisierungsschrittes, d.h. zwischen dem Anfangszeitpunkt TA und dem ersten Zeitpunkt T1 im Wesentlichen dem Startwert entsprechen. Jedoch können sowohl aufgrund von Ungenauigkeiten bei der Ansteuerung als auch durch Abweichungen der Materialeigenschaften des ersten und des zweiten Aktors 1, 2 ge-

ringfügige Änderungen oder Schwankungen der Gesamtlänge während des ersten Polarisationssschrittes auftreten. Die Vorspannkraft  $F$ , die in Figur 4d dargestellt ist, sollte während des ersten Verfahrensschrittes im Wesentlichen konstant bleiben. Aufgrund von Ungenauigkeiten bei der Ansteuerung oder unterschiedlichen Materialeigenschaften des ersten und des zweiten Aktors 1, 2 können auch geringe Abweichungen von dem Startwert  $F_G$  der Vorspannkraft auftreten.

10 Anschließend wird in einem dritten Verfahrensschritt zwischen dem ersten und dem zweiten Zeitpunkt  $T_1$ ,  $T_2$  die erste und die zweite Polarisationsspannung  $P_1$ ,  $P_2$  konstant gehalten.

Anschließend wird in einem vierten Verfahrensschritt nach dem zweiten Zeitpunkt  $T_2$  die zweite Polarisationsspannung  $P_2$  linear bis zum dritten Zeitpunkt  $T_3$  auf den Wert 0 Volt abgesenkt. Gleichzeitig wird ausgehend vom zweiten Zeitpunkt  $T_2$  die erste Polarisationsspannung  $P_1$  ausgehend von dem Wert 0 Volt bis auf den maximalen Spannungswert  $U_{max}$  zum dritten Zeitpunkt  $T_3$  erhöht. Der symmetrische Wechsel der Polarisationsspannungen wird, wie aus Fig. 4a ersichtlich ist, eine festgelegte Zeitspanne wiederholt. Die festgelegte Zeitspanne wird experimentell ermittelt, wobei die Zeitspanne so lange gewählt wird, bis ein gewünschter Polarisationszustand des ersten und/oder des zweiten Aktors 1, 2 erreicht ist.

Je nach Anwendungsfall können die Zeitabschnitte, in denen die erste und die zweite Polarisationsspannung  $P_1$ ,  $P_2$  konstant gehalten werden, verkleinert oder auch vollständig weggelassen werden. Zudem können die Änderungen der ersten und der zweiten Polarisationsspannung  $P_1$ ,  $P_2$  anstelle einer linearen Änderung auch andere zeitliche Änderungsverhalten wie

z.B. abgestufte Änderungen oder exponentielle Änderungen oder Änderungen beliebiger anderer Art aufweisen.

Da während der Startphase des Polarisationsvorganges eine Änderung der Gesamtlänge  $L$  des ersten und des zweiten Aktors 1, 2 auftritt, wird in einer vorteilhaften Ausführungsform der Abstand des ersten und des zweiten Halteelementes 5, 6 während der Startphase erhöht. Der Abstand steigt somit von einem Anfangswert bis zum Endwert am Ende der Startphase. Somit steigt auch die Gesamtlänge  $L$  während der Startphase von einem Startwert bis zu einem Endwert am Ende der Startphase.

Die Vorspannkraft, die auf den ersten und den zweiten Aktor 1, 2 einwirkt, sollte im Wesentlichen in einem festgelegten Wertebereich gehalten werden. Somit sind Schwankungen um den Startwert  $F_G$  der Vorspannkraft zulässig. Am Ende des Polarisationsvorganges werden beide Polarisationsspannungen  $P_1$ ,  $P_2$  auf den Wert 0 gesenkt und die Vorspannkraft wird anschließend ebenfalls auf den Wert 0 reduziert.

Die Frequenz der Polarisationsspannungen, mit denen der erste und der zweite Aktor versorgt werden, hängt von den verwendeten Aktoren 1, 2 ab und kann im Bereich von einigen 100 Hertz liegen.

Die Erfindung wurde an einem Beispiel erläutert, bei dem in Serie zum ersten Aktor 1 ein zweiter Aktor 2 angeordnet ist, der im Wesentlichen identisch zum ersten Aktor 1 ausgebildet ist. Dies bietet den Vorteil, dass der erste und der zweite Aktor 1, 2 im Wesentlichen das gleiche Längenänderungsverhalten in Abhängigkeit von der angelegten Polarisationsspannung aufweist. Damit sind sowohl die zeitliche Änderung der Länge als auch die bei maximaler Spannung  $U_{max}$  sich ergebende maxi-

male Auslenkung des ersten und des zweiten Aktors identisch. Somit können für die Polarisierung des ersten und des zweiten Aktors im Wesentlichen gleiche Kurvenverläufe für die erste und die zweite Polarisierungsspannung  $P_1$ ,  $P_2$  verwendet werden, die jedoch zeitlich gegeneinander verschoben sind. Durch dieses Verfahren können bei einem Polarisationsvorgang jeweils zwei nicht polarisierte Aktoren verwendet werden, so dass bei einem Polarisationsvorgang zwei Aktoren gleichzeitig polarisiert werden.

10

In einer weiteren Ausführungsform können auch unterschiedliche piezoelektrische Aktoren in Serie geschaltet werden. Dies erfordert jedoch einen höheren Aufwand bei der Polarisierung, da unterschiedliche Profile für die Polarisierungsspannungen der zwei Aktoren verwendet werden müssen, um die Gesamtlänge  $L$ , die sich aus der Summe der Längen zwei Aktoren zusammensetzt während der Polarisierung im Wesentlichen konstant zu halten. Bei zwei Aktoren, die unterschiedliche piezoelektrische Eigenschaften aufweisen, sind die entsprechenden Profile für die Polarisierungsspannungen auch unterschiedlich ausgebildet. Um auch bei piezoelektrischen Aktoren mit unterschiedlichen piezoelektrischen Eigenschaften eine Begrenzung der Vorspannkraft  $F$  in dem gewünschten Bereich zu erhalten, kann auch eine Regelung der Polarisierungsspannungen  $P_1$ ,  $P_2$  über die Erfassung der Vorspannkraft durch den Drucksensor 19 erfolgen. Dabei überwacht die Steuereinheit 9 mit dem Drucksensor 19 die an den ersten und den zweiten Aktor anliegende Druckspannung und regelt die Polarisierungsspannungen  $P_1$ ,  $P_2$  der zwei Aktoren 1, 2 in der Weise, dass die Vorspannkraft  $F$  in dem gewünschten Bereich verweilt und trotzdem der erste und der zweite Aktor mit einer gepulsten Polarisierungsspannung versorgt werden und eine remanente Polarisierung des ersten und des zweiten Aktors erreicht wird. Es können jedoch



auch experimentell ermittelte Kurvenverläufe für die zwei Polarisationsspannungen verwendet werden.

In einer weiteren bevorzugten Ausführungsform kann anstelle  
5 des zweiten Aktors 2 auch jedes andere Ausgleichselement verwendet werden, mit dem die Längenänderung des ersten Aktors 1 während des Polarisationsvorganges im Wesentlichen ausgeglichen werden kann. Das Ausgleichselement kann beispielsweise aus mehreren piezoelektrischen Aktoren aufgebaut sein, die in  
10 entsprechender Weise von der Steuereinheit 9 angesteuert werden. Es könnte jedoch auch ein Ausgleichselement verwendet werden, das im Wesentlichen mit Federkräften funktioniert und als passives Ausgleichselement aufgebaut ist und die Vorspannkraft auf einen maximalen Wert begrenzt.

15

Fig. 5 zeigt eine vorteilhafte Schaltungsanordnung für die Versorgung des ersten und des zweiten piezoelektrischen Aktors 1, 2 mit entsprechenden Polarisationsspannungen. In diesem Ausführungsbeispiel sind der erste Leiter 14 des ersten  
20 Aktors 1 mit einer ersten Spannung  $U_1$  und der zweite Leiter 15 des zweiten Aktors 2 mit einer dritten Spannung  $U_3$  verbunden. Die erste Spannung  $U_1$  und die dritte Spannung  $U_3$  sind jeweils konstant und weisen einen Potenzialunterschied auf. In dem gewählten Ausführungsbeispiel sind die erste und die  
25 dritte Spannung  $U_1$ ,  $U_3$  positiv, wobei die erste Spannung  $U_1$  einen minimalen Spannungswert  $U_{\min}$  und die dritte Spannung  $U_3$  einen maximalen Spannungswert  $U_{\max}$  aufweist. Der zweite Leiter 15 des ersten Aktors 1 und der erste Leiter des zweiten Aktors 2 sind elektrisch miteinander verbunden und werden von  
30 der Steuereinheit 9 mit einer Wechselspannung  $U_2$  versorgt, die zwischen dem maximalen Spannungswert  $U_{\max}$  und dem minimalen Spannungswert  $U_{\min}$  hin- und herspringt. Aufgrund der vorteilhaften Schaltungsanordnung reicht es aus, den ersten und

den zweiten Aktor mit nur einer Wechselspannung und zwei konstanten, aber unterschiedlichen Spannungen zu versorgen. Auf diese Weise ist eine einfache und kostengünstige Spannungsversorgung während des Polarisationsvorganges möglich.

5

## Patentansprüche

1. Verfahren zum Polarisieren eines piezoelektrischen ersten Aktors (1), insbesondere für den Einsatz in einem Einspritzventil, wobei der erste Aktor (1) aus mehreren piezoelektrischen Schichten (11) besteht, die zwischen zwei Endflächen (16, 17) angeordnet sind, wobei jede Schicht (11) zwischen zwei Elektroden (12) angeordnet ist, wobei an die Elektroden (12) der Schichten (11) Spannungen mit sich ändernden Spannungswerten zur Polarisierung der Schichten (11) angelegt werden, wobei der erste Aktor (1) während der Polarisierung zwischen zwei Halteelementen (5, 6) angeordnet ist, dadurch gekennzeichnet, dass ein zweiter Aktor (2) in Serie zum ersten Aktor (1) angeordnet ist, dass der zweite Aktor (2) zwei Endflächen (16, 17) aufweist, wobei eine Endfläche (16) des ersten Aktors in Wirkverbindung mit einer Endfläche (17) des zweiten Aktors (2) steht, dass die zwei Aktoren (1, 2) über die äußeren Endflächen (17, 16) mit einer Druckspannung durch die Halteelemente (5, 6) beaufschlagt werden, dass der erste und der zweite Aktor (1, 2) zur Polarisierung mit einer ersten bzw. mit einer zweiten sich ändernden Spannung versorgt werden, dass nach einer Startphase die Spannungen, die an die zwei Aktoren (1, 2) angelegt werden, in der Weise festgelegt sind, dass die Summe der zwei Spannungen zeitlich annähernd konstant ist, so dass die Gesamtlänge der zwei Aktoren (1, 2) trotz der durch die Spannungen erzeugten Längenänderungen des ersten und des zweiten Aktors (1, 2) zeitlich annähernd konstant gehalten wird.

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die erste und die zweite Spannung während der Polarisierung zwischen Minimalwerten und Maximalwerten wechselt.
- 5 3. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass während der Startphase der Maximalwert der sich ändernden ersten und zweiten Spannung von einem Anfangswert auf einen Endwert erhöht wird und dass sich nach der Startphase während der Polarisierung des  
10 ersten und/oder des zweiten Aktors (1,2) die Amplitude der ersten und/oder der zweiten Spannung zwischen dem Endwert und einem niedrigerem Wert zyklisch ändert.
4. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass  
15 als zweiter Aktor (2) ein noch nicht polarisierter Aktor verwendet wird und dadurch in einem Polarisationsvorgang zwei Aktoren (1, 2) gleichzeitig polarisiert werden.
5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, dass die erste und die zweite Spannung die  
20 gleiche Frequenz aufweisen, dass die erste und die zweite Spannung phasenverschoben an den ersten und den zweiten Aktor (1, 2) in der Weise angelegt werden, dass nach der Startphase die Summe aus der ersten und der zweiten  
25 Spannung im wesentlichen konstant bleibt.
6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, dass in einer festgelegten Polarisationsrichtung Spannungspulse verwendet werden, dass abwechselnd der erste und der zweite Aktor (1, 2) mit einem  
30 Spannungspuls versorgt wird, und dass gleichzeitig die Elektroden des zweiten bzw. des ersten Aktors (1, 2) auf ein einheitliches Potenzial gelegt werden.

7. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, dass die Spannungspulse in der Weise geformt sind, dass die zeitliche Änderung der Spannung an den Elektroden des ersten Aktors (1) gleich der zeitlichen Änderung der Spannung an den Elektroden des zweiten Aktors (2) ist, wobei die Spannung an einem Aktor (1) steigt und gleichzeitig am anderen Aktor (2) sinkt.
8. Verfahren nach einem der Ansprüche 3 bis 7, dadurch gekennzeichnet, dass ein Halteelement (6) gegenüber dem anderen Halteelement (5) bewegbar gelagert ist, dass eine sich während der Startphase des Polarisierungsvorganges einstellende Längenänderung des ersten und/oder des zweiten Aktors (1, 2) durch eine Verschiebung des bewegbaren Halteelementes (6) ausgeglichen wird.
9. Vorrichtung zum Polarisieren eines piezoelektrischen ersten Aktors (1), wobei der piezoelektrische erste Aktor (1) zwischen zwei Halteelemente (5, 6) einer Vorspannhalterung (7) eingespannt ist, wobei der piezoelektrische erste Aktor (1) über Steuerleitungen (10) mit einer Steuereinheit (9) verbunden ist, wobei über die Halteelemente (5, 6) eine Vorspannkraft an den ersten Aktor (1) anlegbar ist, dadurch gekennzeichnet, dass zwischen dem ersten Aktor (1) und einem Halteelement (5, 6) ein zweiter piezoelektrischer Aktor (2) angeordnet ist, der über zweite Steuerleitungen (21) mit der Steuereinheit (9) verbunden ist, dass die Steuereinheit (9) nach der Startphase während des Polarisierungsvorganges den ersten und den zweiten Aktor (1, 2) in der Weise mit Polarisierungsspannungen mit sich ändernden Amplituden versorgt, dass sich die durch die Polarisierungsspannungen

gen erzeugten Längenänderungen der zwei Aktoren (1, 2) im Wesentlichen ausgleichen.

10. Vorrichtung nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet,  
5 dass ein Drucksensor (19) vorgesehen ist, der die Vorspannkraft (F) erfasst und über Signalleitungen (20) an die Steuereinheit (9) weiterleitet, dass die Steuereinheit (9) die Polarisationsspannungen der zwei Aktoren (1, 2) in der Weise festlegt, dass sich die gemessene  
10 Vorspannkraft (F), die auf die zwei Aktoren (1, 2) einwirkt, während der Polarisation in einem vorgebbaren Wertebereich befindet.
11. Vorrichtung nach Ansprüche 9, dadurch gekennzeichnet,  
15 dass die zwei Halteelemente (5, 6) an einem Gehäuse (7) gehalten sind, dass ein Halteelement (6) über eine Motorik (8) bewegbar am Gehäuse (7) gehalten ist, dass die Motorik (8) über Steuerleitungen mit der Steuereinheit (9) verbunden ist, und dass die Steuereinheit (9)  
20 die Lage des bewegbaren Halteelementes (6) während der Startphase verändert, um die durch die Erhöhung der Amplituden der ersten und der zweiten Spannung entstehenden Längenänderungen des ersten und/oder des zweiten Aktors (1, 2) auszugleichen.

25



FIG 1 Stand der Technik

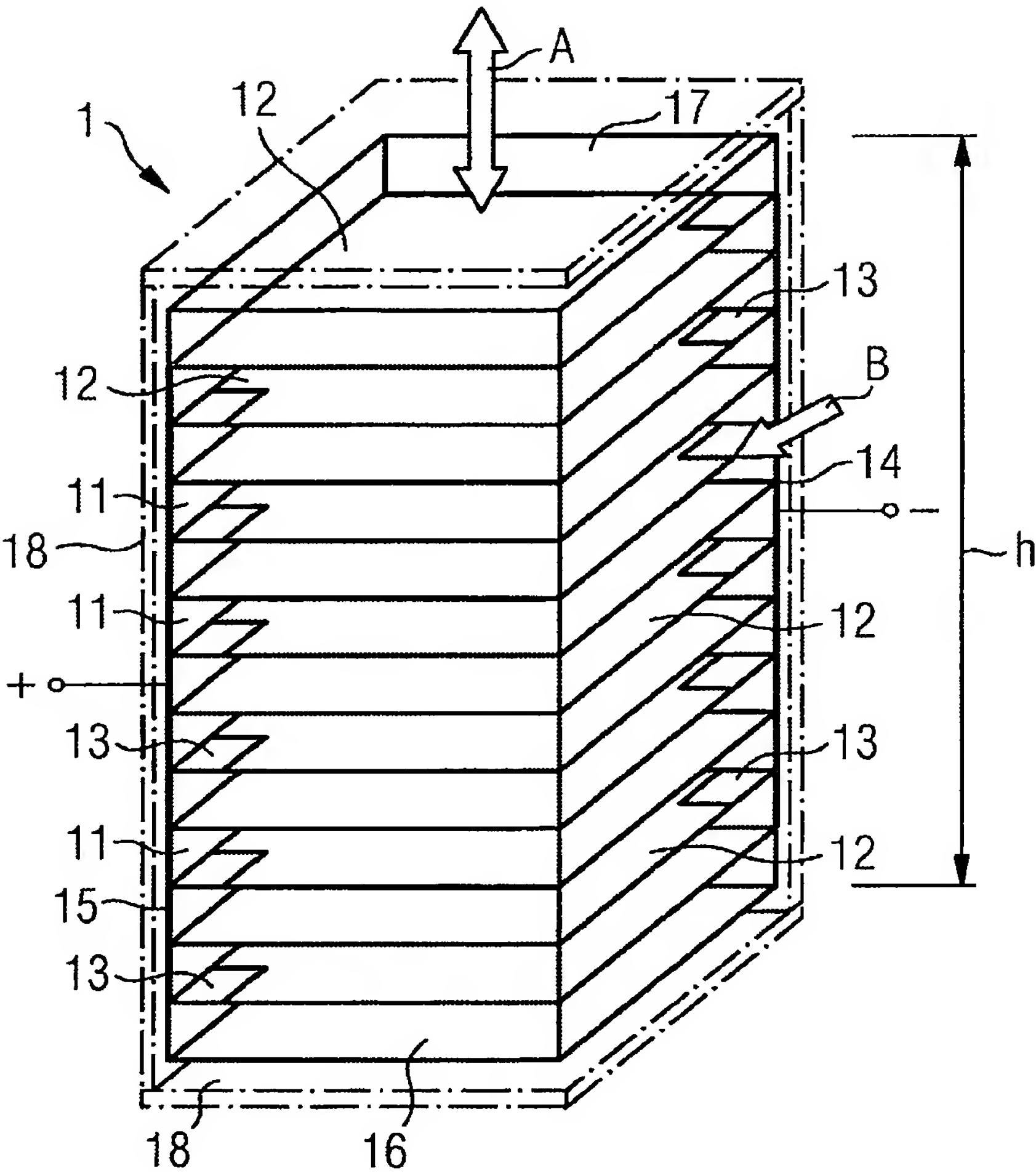


FIG 2

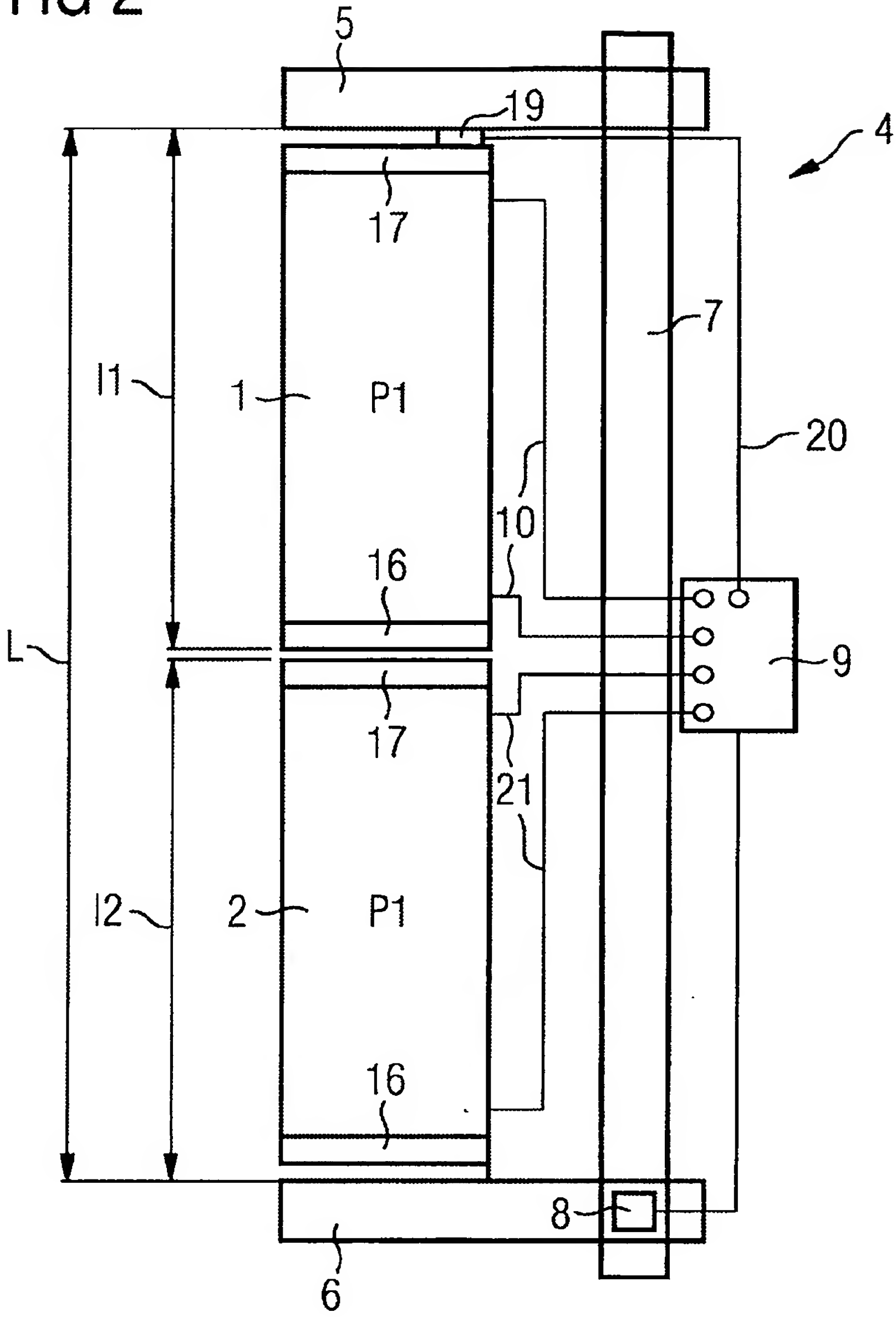


FIG 3A

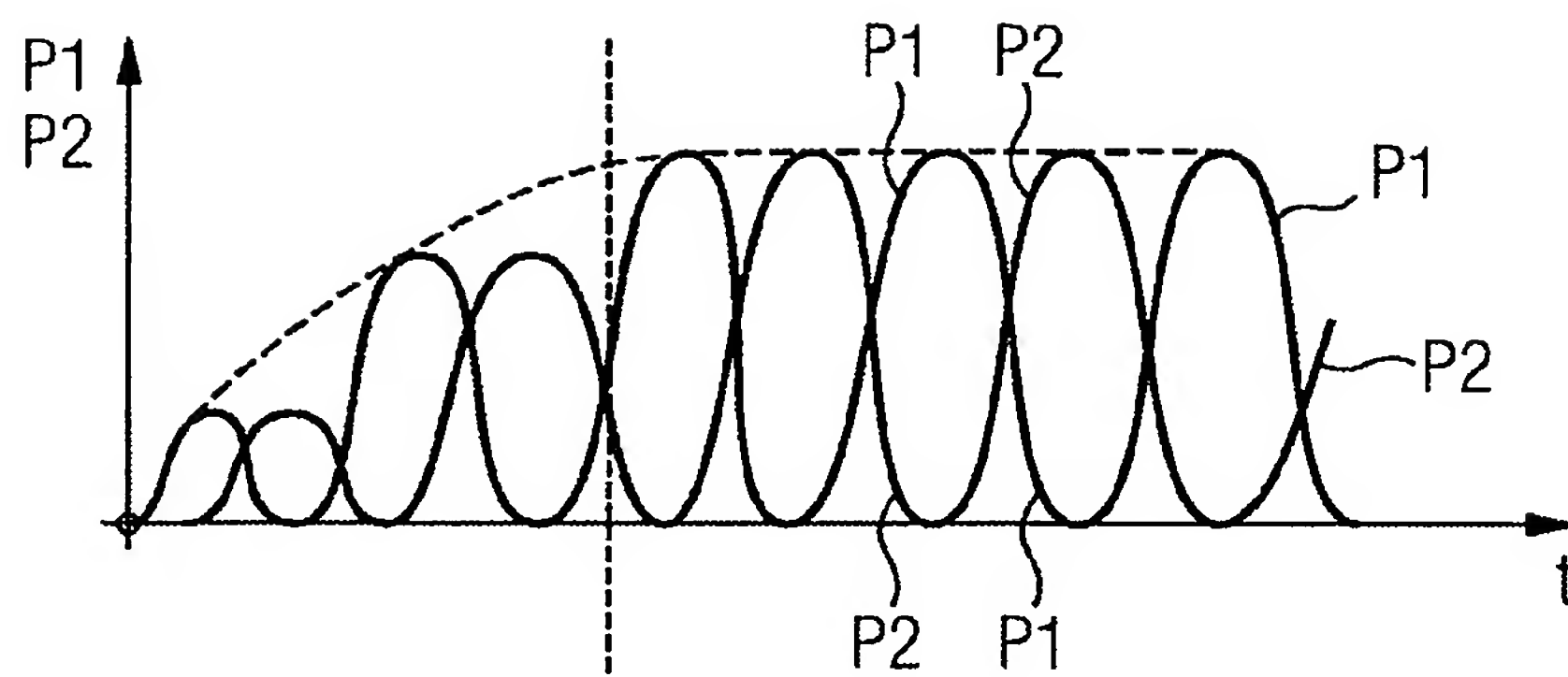


FIG 3B

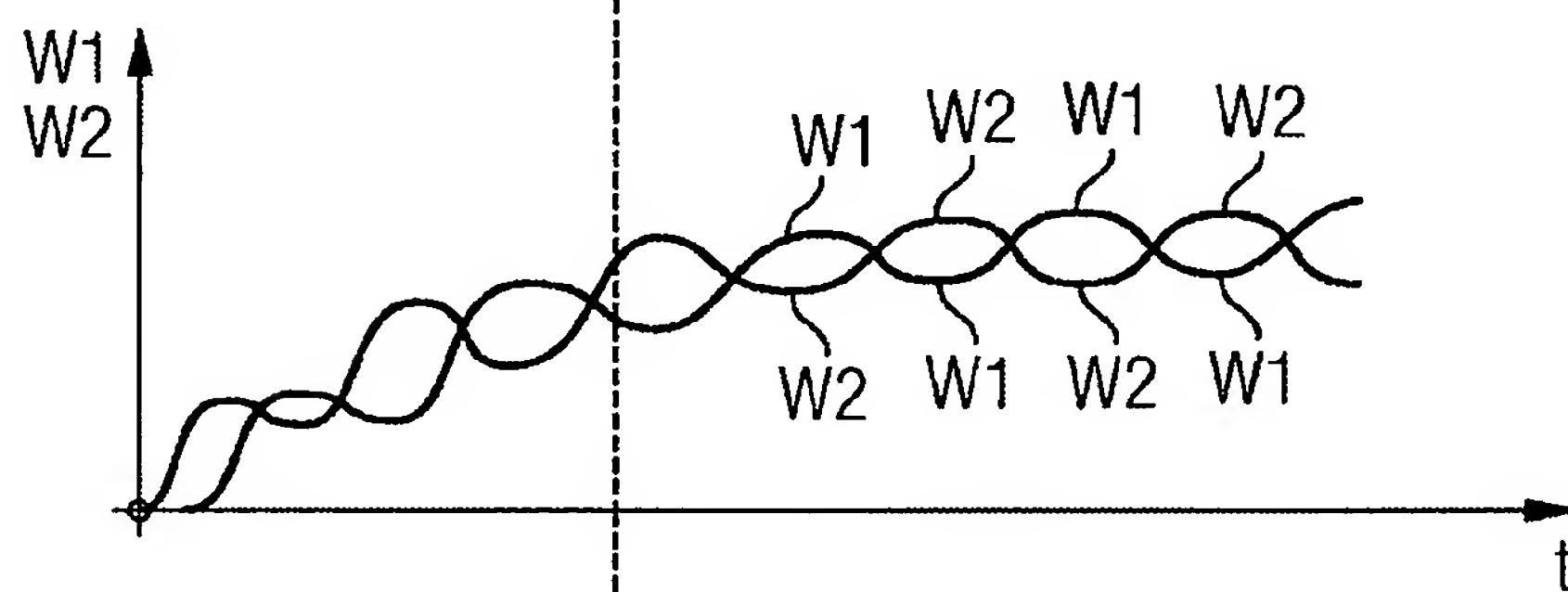


FIG 3C

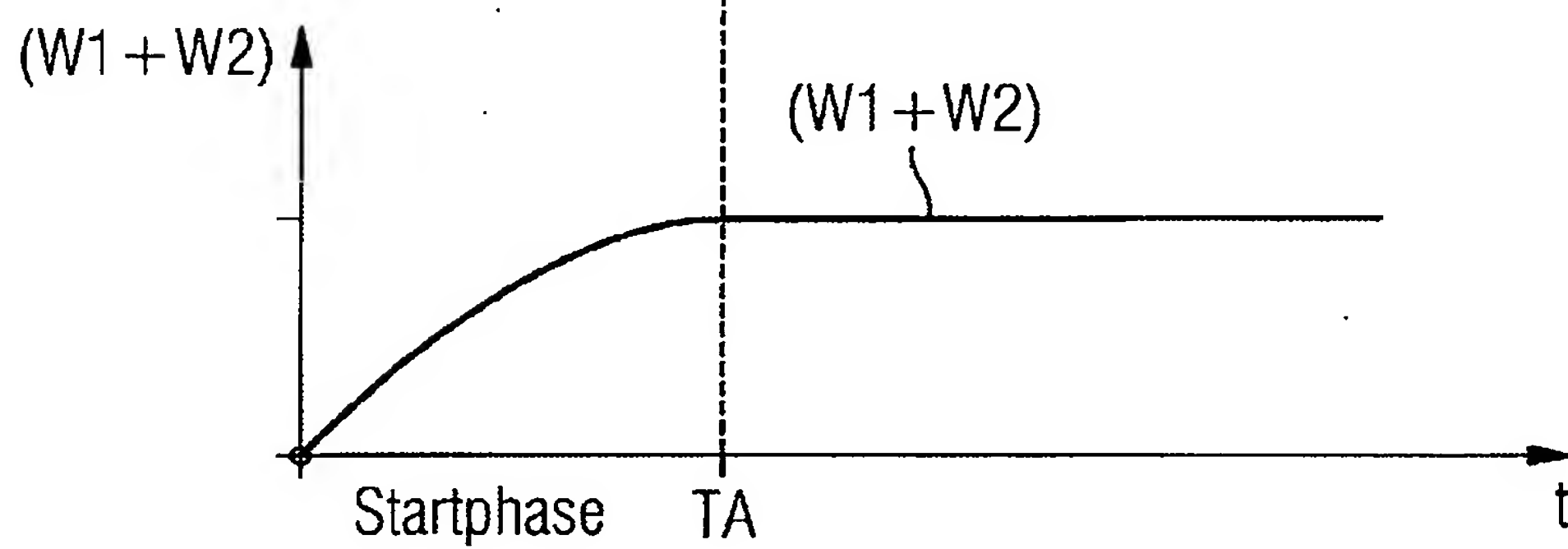


FIG 4A

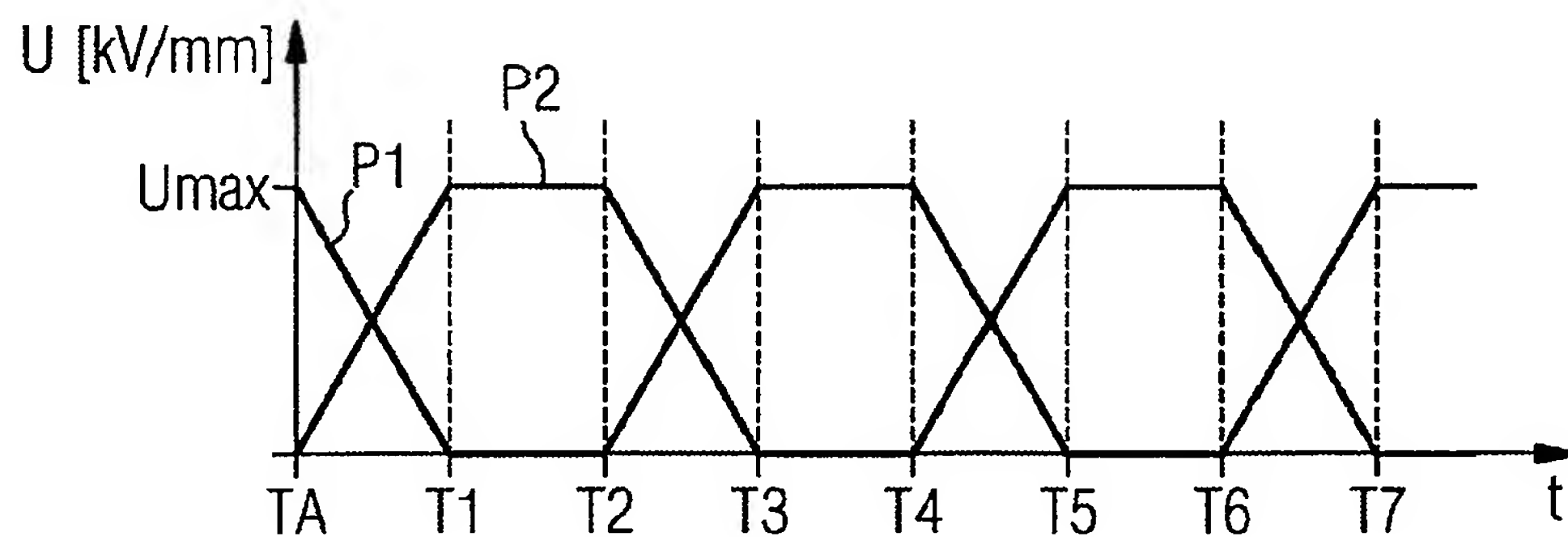


FIG 4B

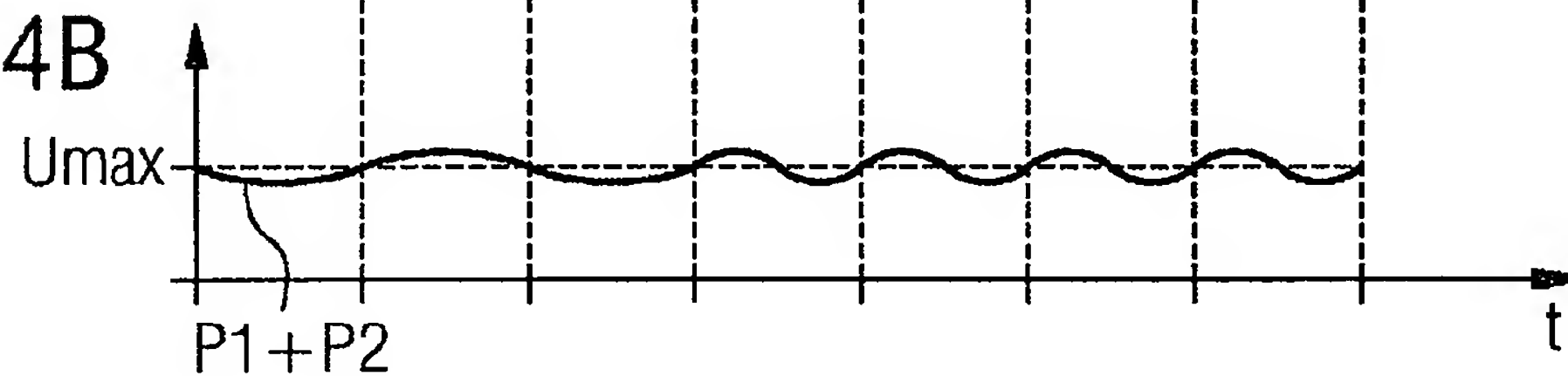


FIG 4C

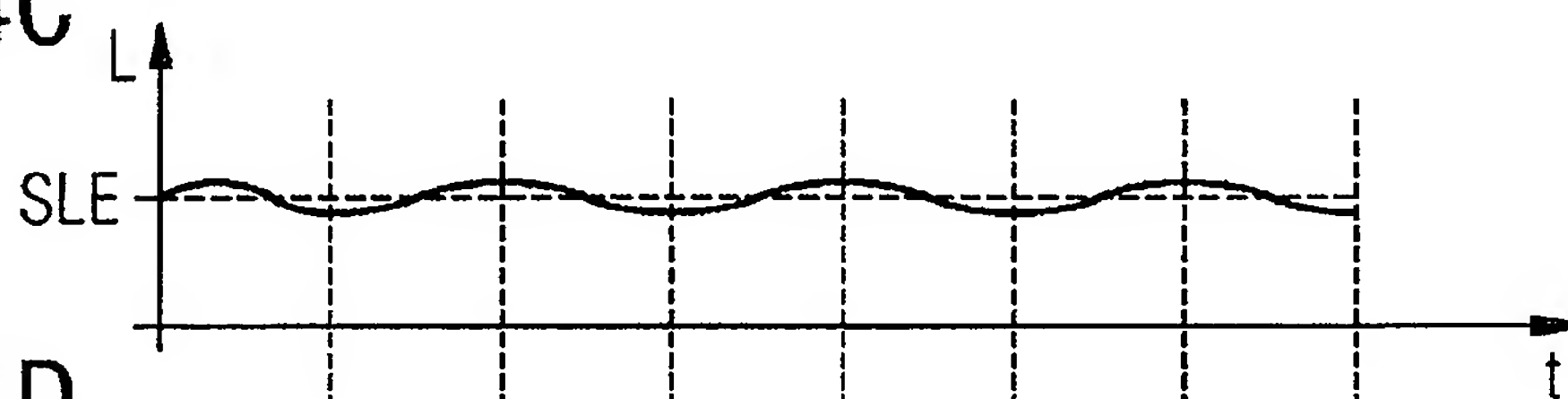


FIG 4D

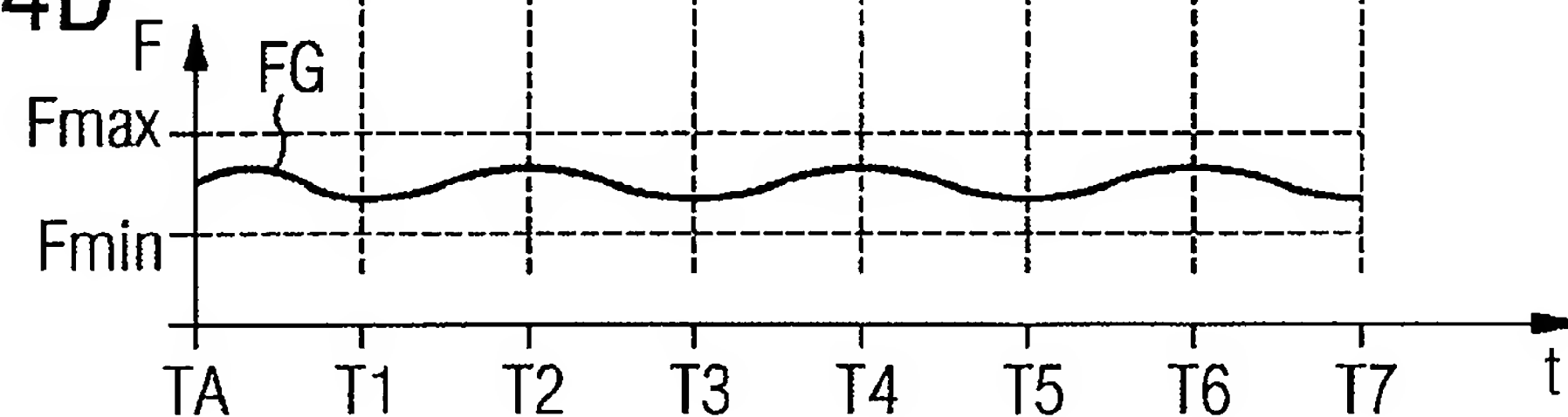
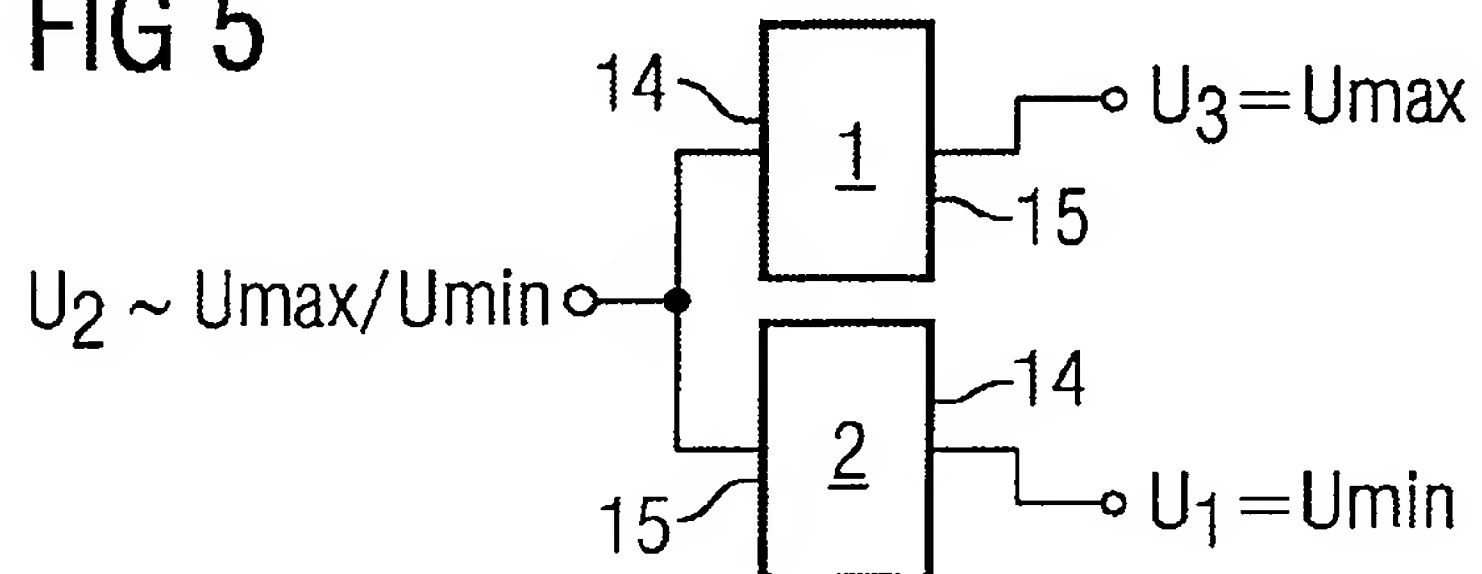


FIG 5



# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No  
PCT/EP2005/050213

**A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER**  
IPC 7 H01L41/22

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

**B. FIELDS SEARCHED**

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)  
IPC 7 H01L

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used)

EPO-Internal, WPI Data, PAJ

**C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT**

Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	DE 100 28 335 A1 (EPCOS AG) 14 February 2002 (2002-02-14) paragraph '0035! - paragraph '0046!; claims 1-6; figures -----	1-3, 6, 9
A	WO 99/31739 A1 (SIEMENS AG; CRAMER DIETER ET AL) 24 June 1999 (1999-06-24) cited in the application page 12, line 18 - page 15, line 10; claims 1-5 -----	1, 9

☐ Further documents are listed in the continuation of box C.

☒ Patent family members are listed in annex.

\* Special categories of cited documents:

- \*A\* document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
- \*E\* earlier document but published on or after the international filing date
- \*L\* document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
- \*O\* document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
- \*P\* document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

- \*T\* later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
- \*X\* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
- \*Y\* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art.
- \*G\* document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

27 April 2005

Date of mailing of the international search report

06/05/2005

Name and mailing address of the ISA

European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2  
NL - 2280 HV Rijswijk  
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,  
Fax: (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Köpf, C

# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International Application No

PCT/EP2005/050213

Patent document cited in search report		Publication date	Patent family member(s)	Publication date
DE 10028335	A1	14-02-2002	NONE	
WO 9931739	A1	24-06-1999	DE 19756182 A1	01-07-1999
			EP 1053568 A1	22-11-2000



# INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2005/050213

## A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES

IPK 7 H01L41/22

Nach der internationalen Patentklassifikation (IPK) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPK

## B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierte Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)

IPK 7 H01L

Recherchierte aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen

Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe)

EPO-Internal, WPI Data, PAJ

## C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
A	DE 100 28 335 A1 (EPCOS AG) 14. Februar 2002 (2002-02-14) Absatz '0035! - Absatz '0046!; Ansprüche 1-6; Abbildungen	1-3, 6, 9
A	WO 99/31739 A1 (SIEMENS AG; CRAMER DIETER ET AL) 24. Juni 1999 (1999-06-24) in der Anmeldung erwähnt Seite 12, Zeile 18 - Seite 15, Zeile 10; Ansprüche 1-5	1, 9

☐ Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen

☒ Siehe Anhang Patentfamilie

\* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen :

'A' Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist

'E' älteres Dokument, das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist

'L' Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt)

'O' Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht

'P' Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist

'T' Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist

'X' Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden

'Y' Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren anderen Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist

'g' Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist

Datum des Abschlusses der internationalen Recherche

27. April 2005

Absendedatum des internationalen Recherchenberichts

06/05/2005

Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde

Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2  
NL - 2280 HV Rijswijk  
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,  
Fax: (+31-70) 340-3016

Bevollmächtigter Bediensteter

Köpf, C

**INTERNATIONALE RECHERCHENBERICHT**  
Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen  
**PCT/EP2005/050213**

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument		Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie		Datum der Veröffentlichung
DE 10028335	A1	14-02-2002	KEINE		
WO 9931739	A1	24-06-1999	DE	19756182 A1	01-07-1999
			EP	1053568 A1	22-11-2000